

# Обзор линейки контроллеров тахон motor

**В арсенал средств, необходимых разработчикам технических систем, давно входит электропривод. Спектр задач, которые можно решать с его помощью, весьма широк в плане как областей применения, так и требований к функциональности, предъявляемых к характеристикам электропривода. В простых ситуациях для выполнения задачи достаточно только двигателя, но в большинстве случаев возникает потребность обязательного использования специализированных средств управления электродвигателем — контроллера двигателя (сервоконтроллера).**

**Олег Сергеев**

sergeev\_o@aviton.spb.ru

**К**омпания тахон motor как один из ведущих производителей решений для малогабаритного электропривода, учитывая общерыночные тенденции и интересы клиентов, предлагает контроллеры двигателей в рамках своего каталога. Для тахон motor основным изделием, вокруг которого строится вся продуктовая линейка, является электродвигатель. По типу поддерживаемых двигателей и датчиков обратной связи, а также по мощности подключаемых двигателей контроллеры точно соответствуют ассортименту двигателей, выпускаемых компанией тахон. Вместе с электромеханической сборкой, в составе которой в различных случаях вместе с двигателем могут быть редуктор, датчик обратной связи и тормозная муфта, потребитель имеет возможность получить комплексное решение для выполнения своей приводной задачи.

## Ассортимент контроллеров тахон motor

Все контроллеры, выпускаемые компанией тахон motor, можно разделить на две группы по основным выполняемым функциям и сложности решаемых задач.

Первую группу составляют контроллеры скорости. Они представляют собой более простые устройства и обеспечивают работу двигателя в следующих режимах:

- обратная связь по скорости;
- обратная связь по току;
- без обратной связи;
- без обратной связи с IR-компенсацией.

Поддержка режима работы с обратной связью по положению, равно как и возможность синхронизации нескольких приводов в многоосевых системах в контроллерах скорости, не предусматривается. По этой причине в контроллерах данного типа нет необходимости в наличии последовательного интерфейса или промышленной шины для штатной работы: возможности контроллеров довольно ограничены, режимы функционирования сравнительно

просты и для управления ими вполне достаточно комплекта логических и аналоговых входов и выходов, которыми и оснащен контроллер. В тех случаях, когда все же присутствует последовательный интерфейс, он предназначен исключительно для настройки контроллера и обновления прошивки.

При помощи контроллеров скорости, как правило, можно выполнить следующие операции:

- поддержание постоянной (заданной) скорости вращения двигателя;
- разгон/замедление двигателя до заданной постоянной скорости с заданным ускорением;
- поддержание постоянного момента на валу двигателя.

Изменение скорости по заданному (сложному) закону нельзя осуществить при помощи самого контроллера скорости — необходимо привлечение внешних управляющих устройств.

Для того чтобы обеспечивать возможность поддержания скорости, контроллеру требуется получать информацию о вращении вала двигателя, что реализуется при помощи датчиков, встроенных непосредственно в двигатель или установленных на двигатель в электромеханическую сборку. Чаще всего контроллеры скорости поддерживают инкрементальные энкодеры (в основном для работы с коллекторными двигателями) и датчики Холла (обычно для бесколлекторных двигателей). В некоторых случаях в качестве датчика скорости поддерживается тахогенератор. Поскольку контроллеры скорости могут работать и в режиме без обратной связи, наличие датчика в составе привода необязательно.

Вторую группу составляют контроллеры положения. Эта группа контроллеров предназначена для решения более сложных задач. Они обеспечивают работу в следующих режимах:

- обратная связь по току (моменту);
- обратная связь по скорости;
- обратная связь по положению;
- режим многоосевой синхронизации.

Здесь в отличие от контроллеров скорости отсутствует режим работы без обратной связи — применение таких сложных и недешевых устройств, какими являются контроллеры положения, неоправданно для использования в столь простых режимах.

Управление контроллерами в рабочем режиме, как правило, производится по промышленному последовательному интерфейсу, который позволяет передавать между контроллером и ведущим устройством нужные настройки, указания о режиме работы, данные с подключенных датчиков и информацию о состоянии контроллера. В качестве последовательных интерфейсов применяются, например, решения на основе Ethernet (EtherCAT, ProfiNet и другие), на основании протокола CAN (CANopen, DeviceNet и другие) и на базе RS-485 (Modbus, Profibus).

Отличительная черта контроллеров положения — обязательное наличие датчика положения. Самым распространенным вариантом является поддержка датчика положения, установленного на валу двигателя. Однако некоторые контроллеры предполагают и другое расположение датчика — например, на выходе сборки двигатель-редуктор. Контроллеры положения поддерживают различные типы датчиков: инкрементальные энкодеры (самый распространенный) и абсолютные энкодеры с различными интерфейсами.

Еще одно различие между контроллерами разных моделей — способ формирования напряжений, подаваемых на обмотки бесколлекторного двигателя. В контроллерах тахоп используются два способа: блочная коммутация и синусоидальная коммутация.

При блочной коммутации на обмотки двигателя попарно подается напряжение фиксированного уровня в течение 60° (электрических). Моменты переключения определяются по показаниям датчиков Холла либо бесконтактным образом. Напряжения и токи при этом имеют прямоугольную форму. Такой способ проще в реализации, чем синусоидальная коммутация, но приводит к пульсациям

крутящего момента до 14%, что допустимо не для всех случаев.

Другой способ формирования напряжений на обмотках двигателя — синусоидальная коммутация. При помощи ШИМ формируется трехфазное синусоидальное переменное напряжение, подаваемое на все три фазы двигателя. При синусоидальной коммутации обязательно использование датчика положения вала двигателя, обеспечивающего более точную информацию, чем датчики Холла. Обычно для двигателей тахоп это инкрементальный энкодер. Пульсации момента при данном способе коммутации отсутствуют, но электроника более сложна.

### Контроллеры скорости тахоп motor

#### Контроллеры ESCON

Среди контроллеров тахоп особое место занимает семейство контроллеров скорости ESCON. Первый контроллер семейства появился весной 2012 года, и к настоящему времени серия содержит шесть моделей. Основные параметры контроллеров и их особенности представлены в таблице 1.

Самые мощные модели контроллеров ESCON, начиная с 50 В и 5 А, поддерживают и коллекторные, и бесколлекторные двигатели тахоп. Младшие модели контроллеров: ESCON 36/2 DC, 36/3 EC и Module 50/4 EC-S — поддерживают только один тип двигателей. Более того, ESCON 36/3 EC работает лишь в режиме с обратной связью по датчикам Холла, а ESCON Module 50/4 EC-S — только без датчиков Холла.

Два контроллера семейства — ESCON Module 50/4 EC-S и ESCON Module 50/5 — выпускаются в OEM-исполнении. Их установка производится на основную (материнскую) плату, которая разрабатывается самим клиентом. Такое решение позволяет получить контроллер минимальных габаритов, оптимально вписывающийся в пространство, доступное в том или ином изделии.

#### Режимы работы контроллеров ESCON

В режиме работы с обратной связью по скорости к контроллеру должен быть обязательно подключен датчик, установленный на валу двигателя. Для коллекторных двигателей предусмотрены энкодеры и тахогенераторы, для бесколлекторных двигателей — энкодеры и датчики Холла. Контроллеры ESCON поддерживают только один тип энкодеров: двухканальными инкрементальными энкодерами с прямоугольными импульсами и дифференциальным выходом (драйвер линии RS-422), но они являются наиболее распространенными и составляют большую часть предложения компании тахоп motor по датчикам.

Альтернативный для коллекторных двигателей вариант датчика обратной связи — тахогенератор. Он представляет собой датчик скорости с выходом в виде аналогового напряжения, выполненный по электромашинной технологии. Подключение к контроллеру реализуется при помощи дифференциального аналогового входа с диапазоном ±10 В.

Для работы с бесколлекторными двигателями в качестве датчиков обратной связи могут быть использованы датчики Холла. Они являются датчиками магнитного поля и пригодны для простых задач регулирования скорости, где не требуется достижения низких скоростей и большой стабильности скорости. Преимущество этих датчиков в том, что в большинстве случаев они встраиваются непосредственно в бесколлекторные двигатели. Недостаток — низкое разрешение: для двигателя с одной парой полюсов разрешение составит 6 имп/об. (24 отсчета с учетом учетверения импульсов при подсчете в контроллере), чего, конечно, недостаточно для глубокого регулирования скорости. Если бесколлекторный двигатель оснащен более чем одной парой полюсов, то количество импульсов, выдаваемых датчиками Холла на 1 оборот, будет увеличиваться пропорционально числу пар полюсов. Из бесколлекторных двигателей тахоп это относится к сериям EC-4pole (2 пары) и EC-flat (4–12 пар). Очевидно,

Таблица 1. Основные параметры контроллеров скорости серии ESCON

Параметр	ESCON 36/2 DC	ESCON 36/3 EC	ESCON Module 50/4 EC-S	ESCON 50/5	ESCON 50/5 Module	ESCON 70/10
<b>Двигатель</b>						
Тип двигателей	DC	BLDC	BLDC	DC, BLDC	DC, BLDC	DC, BLDC
Мощность двигателя, Вт	72	97	200	250	250	700
<b>Электрические параметры</b>						
Напряжение питания, В	10–36	10–36	10–50	10–50	10–50	10–70
Номинальный выходной ток, А	2	3	4	5	5	7
<b>Датчики</b>						
Энкодер	Да	–	–	Да	Да	Да
Датчики Холла (BLDC)	–	Да	–	Да	Да	Да
Тахогенератор (DC)	Да	–	–	Да	Да	Да
Без датчика скорости (DC)	Да	–	–	Да	Да	Да
Без датчика Холла (BLDC)	–	–	Да	–	–	–

Примечания. DC — коллекторный двигатель постоянного тока; BLDC — бесколлекторный двигатель постоянного тока (вентильный двигатель)

Таблица 2. Основные параметры контроллеров DEC Module

Параметр	DEC Module 24/2	DEC Module 50/5
	<b>Двигатель</b>	
Тип двигателей	BLDC	BLDC
Мощность двигателя, Вт	48	250
<b>Электрические параметры</b>		
Напряжение питания, В	8–24	6–50
Номинальный выходной ток, А	2	5
<b>Датчики</b>		
Энкодер	–	–
Датчики Холла (BLDC)	–	Да
Без датчика Холла (BLDC)	–	–

для двигателя с двенадцатью парами полюсов разрешение составит 72 имп/об. (288 отсчетов), что примерно соответствует уровню разрешения базовых моделей энкодеров.

В системах с коллекторным двигателем, где не требуется точного поддержания скорости или нет возможности установить ни один из перечисленных датчиков, используется работа без датчика обратной связи. Такой режим имеется у всех контроллеров ESCON, поддерживающих работу с коллекторными двигателями. В этом режиме на выход контроллера выдается напряжение, пропорциональное сигналу задания. Двигатель при этом действует на естественной механической характеристике, и его скорость снижается при приложении нагрузки.

Если же речь идет о бесколлекторных двигателях, то, говоря об отсутствии датчиков, подразумевают отсутствие либо энкодеров, либо датчиков Холла. Примером приложений, где требуются двигатели без датчиков Холла, служат ограничения на число проводов, которые можно проложить от двигателя до контроллера (в частности, при работе через длинный кабель), или особо жесткие условия, в которых функционирует двигатель (например, под радиацией). В таких случаях, чтобы иметь возможность коммутировать фазы бесколлекторного двигателя, применяются специальные алгоритмы определения момента переключения обмоток, в том числе на основе анализа ЭДС, наводимой в фазе двигателя. Использование таких технологий предполагает специальные решения в аппаратной части и в программном обеспечении, поэтому в контроллерах ESCON работу без датчиков Холла поддерживает лишь один контроллер ESCON Module 50/4 EC-S.

Контроллеры ESCON поддерживают только синусоидальную коммутацию.

#### Входы и выходы контроллеров ESCON

Контроллеры ESCON оснащены логическими и аналоговыми входами и выходами, предназначенными для управления контроллером. Кроме этого, для тех же целей можно использовать встроенные потенциометры (1 или 2

в зависимости от модели контроллера) и константы, занесенные в память контроллера.

Для реализации управления контроллером предлагаются следующие возможности конфигурации входов и выходов.

Логические входы:

- разрешение работы;
- разрешение работы по часовой стрелке;
- разрешение работы против часовой стрелки;

- сигнал направления;
- сигнал остановки.

Аналоговые входы<sup>1</sup>:

- сигнал задания;
- смещение нуля сигнала задания;
- ограничение тока;
- плавный разгон (ускорение).

Логические выходы:

- сигнал готовности;
- компаратор скорости;
- компаратор тока.

Аналоговые выходы:

- фиксированное значение;
- реальный ток;
- реальный ток усредненный;
- реальная скорость;
- реальная скорость усредненная;
- задание тока;
- задание скорости;
- температура силового каскада.

Встроенные потенциометры:

- коэффициент IR-компенсации;
- коэффициент регулятора тока;
- коэффициент регулятора напряжения.

Настройка функций входов и выходов производится через интерфейс USB. После этого интерфейс USB может быть отключен: все управление контроллером производится только при помощи входов контроллера и встроенных потенциометров.

#### Контроллеры DEC Module

Семейство контроллеров DEC представляет собой предыдущее поколение контроллеров скорости, разработанное компанией тахоп мотор для бесколлекторных двигателей. Большая часть контроллеров, входивших в семейство DEC, уже снята с производства и за-

менена контроллерами ESCON. Тем не менее две модели компактных контроллеров DEC в OEM-исполнении (предполагающем мезонинную установку на печатную плату, разрабатываемую клиентом) доступны в каталоге и сейчас. Основные параметры контроллеров представлены в таблице 2.

Контроллеры DEC поддерживают режимы работы с обратной связью по скорости (датчики Холла) и без обратной связи по скорости. Режим работы с обратной связью по току не поддерживается. Управление двигателями производится при помощи блочной коммутации. Управление контроллерами выполняется при помощи цифровых и аналоговых входов.

Логические входы:

- установка режима работы;
  - установка диапазона скоростей;
  - направление.
- Аналоговые входы:
- заданное значение скорости;
  - значение ограничения тока.

Логический выход:

- готовность.

В целом контроллеры DEC обеспечивают простое и компактное решение с базовой функциональностью, предназначенное для выполнения простых задач.

#### Контроллеры положения тахоп мотор

##### Контроллеры EPOS2

EPOS2 — это основное семейство контроллеров положения, выпускаемых тахоп мотор в настоящее время. Контроллеры EPOS2 представляют собой обновленную версию семейства, вышедшую в 2011 году. В настоящее время семейство состоит из шести моделей (табл. 3).

Контроллер EPOS2 Module 36/2 изготавливается в виде OEM-модуля для установки на печатную плату пользователя. Установка производится в краевой разъем (слот, аналогичный PCI Express). Таким образом обеспечивается компактное решение для многоосевых позиционных приводных систем.

##### Режимы работы контроллеров EPOS2

Для контроллеров EPOS2 в большинстве случаев обязательным является наличие датчика положения. Стандартным вариантом, который поддерживают все контроллеры линейки, являются инкрементальные энкодеры с выходом RS-422. Ряд контроллеров (EPOS2 50/5 и 70/10) может функционировать с другими типами датчиков: с инкрементальными энкодерами с выходом sin/cos, а также с абсолютными энкодерами с интерфейсом SSI. Все контроллеры EPOS2 поддерживают работу с одним датчиком в обратной связи, часть контроллеров (Module 36/2, 50/5 и 70/10) — с обратной связью по двум датчикам, установленным в различных точках кинематической цепи. Причем один из датчиков используется в обратной связи в контуре положения, второй — в контуре скорости.

##### Режим обратной связи по току

В режиме обратной связи по току регулируемой величиной является ток двигателя, для

<sup>1</sup> Большинство функций аналоговых входов может быть настроено на следующие способы задания: аналоговый вход, потенциометр, ШИМ-сигнал, две внутренние константы + логический вход, одна внутренняя константа.

Таблица 3. Основные параметры контроллеров положения EPOS2

Параметр	EPOS2 24/2	EPOS2 Module 36/2	EPOS2 24/5	EPOS2 50/5	EPOS2 70/10	EPOS2 P 24/5
	<b>Двигатель</b>					
Тип двигателей	DC, BLDC					
Мощность двигателя, Вт	48	72	120	250	700	120
<b>Электрические параметры</b>						
Напряжение питания, В	2–24	11–36	11–24	11–50	11–70	11–24
Номинальный выходной ток, А	2	2	5	5	10	5
<b>Датчики</b>						
Энкодер инкрементальный TTL	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Энкодер инкрементальный sin/cos	–	–	–	Да	Да	–
Энкодер абсолютный SSI	–	–	–	Да	Да	–
Датчики Холла (BLDC)	Да	Да	Да	Да	Да	Да
<b>Прочие возможности</b>						
Работа по программе	–	–	–	–	–	Да

двигателей тахом с обмоткой без стального сердечника он прямо пропорционален моменту двигателя. Измерение тока выполняется датчиком тока, встроенным в контроллер. Система управления двигателем имеет один контур обратной связи — контур тока. В качестве задающего сигнала может выступать как цифровое значение, передаваемое по последовательному интерфейсу, так и сигнал, подаваемый на аналоговый вход.

Этот режим работы применяется сравнительно редко. Чаще всего им пользуются в стендах для испытания двигателей, когда один двигатель служит нагрузкой для второго, или в многоосевых манипуляторах на последней степени подвижности для создания рабочего усилия на инструменте.

#### Режим обратной связи по скорости

При помощи режимов работы с обратной связью по скорости решаются задачи, связанные со стабилизацией или точным регулированием скорости. Скорость измеряется датчиком скорости, который чаще всего устанавливается на валу двигателя. Система управления в этом режиме уже имеет двухконтурную структуру. Внешним контуром служит контур скорости, охватывающий замкнутый контур тока. Такая структура системы управления позволяет получить хорошее качество регулирования при относительно простой схеме регуляторов тока и скорости.

На основе такой структуры системы управления в контроллерах EPOS2 реализовано несколько режимов работы, которые различаются способом формирования задающего воздействия на контур скорости. Если в качестве задания выступает просто цифровое значение скорости, передаваемое по последовательному интерфейсу, то на вход контура скорости фактически поступает ступенчатое входное воздействие (режим скорости). В чистом виде такой режим практически не используется из-за невозможности контролировать моменты и, соответственно, ускорения, возникающие в переходном процессе. В качестве сигнала

задания для контура скорости может выступать выход генератора траектории (режим профиля положения). Генератор траектории на основе заданных параметров траектории (начальная и конечная скорость, максимальное ускорение при разгоне и торможении) формирует на каждом такте работы системы управления требуемые значения задания скорости. В этом случае формируемая последовательность задающих воздействий по скорости соответствует заданным параметрам траектории и обеспечивает возможность точно контролировать ускорения в процессе работы. Еще один вариант задающего сигнала — использование аналогового входа (режим аналогового сигнала задания скорости).

#### Режим обратной связи по положению

Режимы работы с обратной связью по положению — основная часть функций, выполнение которых требуется от контроллеров положения. Такие режимы позволяют осуществлять перемещения полезной нагрузки, контролируя ее положение. Для работы в этом режиме необходим датчик скорости, и в настоящее время в качестве такого датчика часто выступает энкодер, предоставляющий информацию о положении и о скорости, в зависимости от способа обработки получаемого с датчика сигнала.

Структура системы управления в этом случае состоит из двух или трех контуров. По умолчанию система управления состоит из двух контуров: внешнего контура положения и внутреннего контура тока. Этого достаточно для решения большинства практических задач, хотя предполагает наличие более сложного регулятора в контуре положения. Для контроллеров, поддерживающих работу с двумя датчиками обратной связи, можно использовать трехконтурную систему управления с вложенными контурами положения, скорости и тока. В этом случае достаточно двух датчиков: один используется в контуре скорости, а другой — в контуре положения. Такая система позволяет решать более сложные за-

дачи управления приводом, например в случае наличия люфта в редукторе или ограниченной жесткости механической передачи.

Как и в случае с режимами работы по скорости, для режимов работы с обратной связью по положению имеется несколько вариантов, отличающихся формой входного воздействия. Базовым считается режим с задающим воздействием в цифровой форме, которое поступает по последовательному интерфейсу (режим положения). Возможно и применение генератора траектории для формирования задания на контур положения, входными параметрами которого в данном случае будут начальное и конечное положение, максимальная скорость, ускорение при разгоне и торможении (режим профиля положения). Кроме того, входное воздействие может задаваться в виде последовательностей импульсов на логических входах контроллера. При этом можно работать с импульсами в форме шаговых импульсов и сигнала направления (режим «шаг-направление») и в форме квадратурных импульсов инкрементального энкодера (режим ведущего энкодера). Доступен и режим, в котором задающее воздействие является аналоговым сигналом (режим аналогового сигнала задания положения).

Очень часто в качестве датчика обратной связи используется инкрементальный энкодер. Особенностью этого датчика является невозможность определения абсолютного положения исполнительного механизма сразу после старта системы. Эта сложность разрешается при помощи процедуры определения начального положения, то есть после включения питания привод поворачивается в некоторое заранее известное положение и в нем фиксируется при помощи концевых выключателей, превышения тока, импульсов индексного канала энкодера или сочетания этих признаков. Контроллеры EPOS2 предусматривают соответствующий режим (режим выхода в начальное положение) и большое количество подрежимов, использующих различные признаки для фиксации начальной точки.

**Режим многоосевой синхронизации**

К системам, включающим несколько приводов, часто предъявляются требования прохождения по определенной траектории. Для выполнения этой задачи нужно скоординированное движение приводов разных осей. Под скоординированным движением в данном случае понимается синхронное (оси должны перемещаться одновременно, начиная и заканчивая движение в одно время) и взаимосвязанное перемещение (положение, которое должна занять ось, зависит от положения других осей). Кроме того, формирование задающего воздействия на приводы должно происходить в реальном времени.

В современных многоосевых приводных системах применяется несколько вариантов решения этой задачи. В контроллерах EPOS2 используется распределенное формирование траектории (режим интерполяции положения). Весь объем работ по формированию на каждом такте работы системы управления приводом задающего воздействия разделяется между центральным (ведущим) устройством приводной системы и контроллерами осей.

На траектории, которую следует воспроизвести в многоосевой системе, выделяются опорные точки, далее траектория преобразуется в перемещения отдельных осей. Последняя операция выглядит весьма тривиальной, когда направления перемещения приводов осей совпадают с осями прямоугольной системы координат, но в других случаях (например, для манипулятора с несколькими вращательными степенями подвижности) такое преобразование требует значительных дополнительных вычислений. Помимо координат опорных точек, задаются также скорости в опорных точках и фиксируются моменты времени прохождения этих точек. Таким образом, для каждой из осей формируется массив троек значений «положение-скорость-время», который передается ведущим устройством контроллерам осей. В контроллерах осей производится восстановление формы заданной траектории для данной оси при помощи сплайн-интерполяции. Затем на каждом такте работы контроллера оси вычисляется значение траектории между опорными точками в соответствии с параметрами интерполяционных сплайнов, полученных на предыдущем шаге. При таком разделении функций между ведущим устройством и контроллерами осей передаются только тройки значений «положение-скорость-время», чей объем гораздо меньше объема сигналов задания положения на каждом такте при прочих равных условиях. Такой подход дает возможность реализовывать довольно сложные траектории для многоосевых систем при достаточно мягких требованиях к пропускной способности последовательной шины.

Все контроллеры EPOS2 оснащены последовательными интерфейсами: USB и CANopen. Интерфейс USB применяется для настройки контроллера, обновления прошивки и решения задач отладки. Интерфейс CANopen предназначен для управления контроллером в реальных системах с определенными требо-

ваниями к производительности и надежности. Контроллеры EPOS2 могут быть объединены в промышленную сеть по интерфейсу CANopen, формируя многоосевую систему. В качестве ведущего устройства такой системы может выступать промышленный контроллер или персональный компьютер, снабженный интерфейсом CANopen, а также контроллер EPOS2 P 24/5, который может работать по программе и управлять сетью CANopen.

**Контроллеры EPOS3**

Следующий шаг в направлении увеличения производительности контроллеров после завершения работы над семейством EPOS2 — создание контроллеров EPOS3. Основное отличие этих семейств заключается в том, что контроллеры EPOS3 оснащены быстродействующим последовательным интерфейсом EtherCAT и в них появился ряд новых режимов работы.

Новые режимы работы: циклический режим положения, циклический режим скорости и циклический режим момента — различаются тем, что генератор траектории в этих режимах располагается в ведущем устройстве, а не в ведомых приводах, как в EPOS2. При таком построении многоосевой системы вычисление траектории на каждом из тактов работы системы управления происходит в ведущем устройстве. Данный подход требует большей пропускной способности последовательной шины, но позволяет точнее синхронизировать перемещения различных осей, чем распределенное решение (как у EPOS2). Применение промышленной шины EtherCAT, использующей физической уровень сети Ethernet с пропускной способностью 100 Мбит/с, вместо шины CANopen (1 Мбит/с) позволяет избежать проблем с производительностью при таких режимах работы.

Структура системы управления в циклическом режиме положения и циклическом режиме скорости двухконтурная. Внутренним контуром является контур тока, внешним контуром — соответственно либо контур положения, либо контур скорости. Задающее воздействие для обоих режимов получается в цифровом виде по последовательному интерфейсу. В циклическом режиме момента система управления одноконтурная (контур тока) с задающим воздействием, также получаемым в цифровом виде.

В 2014 году в семействе EPOS3 выпущена первая модель — контроллер EPOS3 70/10.

**Контроллеры MAXPOS**

Очередным шагом в сторону увеличения производительности и функциональных возможностей стал запуск серии контроллеров MAXPOS, состоявшийся весной 2014 года с выходом

первой модели MAXPOS 50/5. Контроллеры MAXPOS имеют в своей основе полностью переработанную платформу, что позволило заметно увеличить производительность и расширить функциональные возможности.

MAXPOS 50/5 представляет собой контроллер положения с поддержкой промышленной шины EtherCAT и предназначен для коллекторных и бесколлекторных двигателей мощностью до 250 Вт. Режимы работы, реализованные в контроллере MAXPOS, такие же, как и для EPOS3, включая циклические режимы положения, скорости и момента.

Благодаря новой аппаратной части в контроллерах MAXPOS оказалось возможным значительно улучшить быстродействие контроллера: частота ШИМ повышена в 2 раза, на порядок увеличилась частота дискретизации в контурах тока, положения и скорости. Такой рост производительности позволяет новому контроллеру повысить полосу пропускания контуров управления и, следовательно, решать более сложные задачи, требующие высокого быстродействия контроллера.

Увеличение производительности контроллера позволило также поднять и максимально возможную скорость вращения бесколлекторных (вентильных) двигателей: в режиме синусоидальной коммутации у нового контроллера она достигает 200 000 об/мин (для 1 пары полюсов) против 25 000 у EPOS3/EPOS2. Ограничение на максимальную скорость вращения бесколлекторного двигателя определяется максимальной частотой импульсов, которую может выдавать контроллер на двигатель. Поскольку скорость вращения бесколлекторного двигателя обратно пропорциональна числу пар полюсов, то это ограничение становится более жестким для многополюсных двигателей (табл. 4). Увеличение максимальной скорости помогает избежать проблем с ограничением по скорости при работе в режиме синусоидальной коммутации с однополюсными высокоскоростными и многополюсными двигателями.

Из данных, представленных в таблице 4, непосредственно следует, что контроллеры EPOS2 и EPOS3 не обеспечивают работу части двигателей на максимальной скорости в режиме синусоидальной коммутации, но позволяют достичь нужных скоростей в режиме блочной коммутации. Последняя, однако, дает определенные пульсации момента, которые могут быть неприемлемы в ряде высокоточных приложений. С применением контроллеров MAXPOS все двигатели тахом можно использовать во всем диапазоне скоростей в режиме синусоидальной коммута-

**Таблица 4.** Сравнение ограничений по скорости для контроллеров и скорости бесколлекторных двигателей maxon motor [об/мин]

	Вид коммутации	Количество пар полюсов					
		1	2	4	7	8	12
Серия двигателей		EC13	EC-4pole22	EC14flat	ECi40	EC45flat	EC90flat
Максимальная скорость двигателей		73 500	17 800	20 000	13 200	8130	3190
Скорость EPOS2/EPOS3	блочная	100 000	50 000	25 000	14 280	12 500	8330
Скорость EPOS2/EPOS3	синусоидальная	25 000	12 500	6250	3570	3125	2083
Скорость MAXPOS	синусоидальная	200 000	100 000	50 000	28 570	25 000	16 670



ции, что расширяет возможности создания высокоточных приводных систем.

В контроллере MAXPOS также произошли заметные изменения в работе с датчиками обратной связи. Помимо инкрементальных энкодеров с прямоугольными импульсами, инкрементальных энкодеров sin/cos и абсолютных энкодеров с интерфейсом SSI, поддержка которых имела в семействах EPOS2 и EPOS3, теперь будут поддерживаться энкодеры с интерфейсами EnDat и BiSS. Данные интерфейсы используются в абсолютных одно- и многооборотных энкодерах, что позволит расширить возможности применения контроллеров тахоп.

В настоящее время контроллеры положения тахоп представлены тремя сериями продуктов с близкой, но не совпадающей функциональностью. Основные различия между сериями контроллеров положения тахоп показаны в таблице 5.

Компания тахоп motor традиционно уделяет большое внимание электронике для управления своими двигателями. За последние годы полностью обновлена линейка контроллеров скорости — выпущено единое семейство контроллеров ESCON, разработаны первые контроллеры новых серий контроллеров положения EPOS3 и MAXPOS. Новые контроллеры имеют расширенную функциональность и улучшенные характеристики, что существенно расширяет возможности разработчиков высокоточных систем электроприводов.

Таблица 5. Основные различия контроллеров положения тахоп motor

Параметр	EPOS2	EPOS3	MAXPOS
			
<b>Интерфейсы</b>			
Промышленная шина	CANopen	EtherCAT	EtherCAT
Интерфейс программирования	USB 2.0	USB 2.0	USB 2.0 / 3.0
<b>Режимы работы</b>			
Циклический ток, скорость, положение	–	+	+
<b>Датчики обратной связи</b>			
Датчики Холла	+	+	+
Инкрементальные энкодеры TTL	+	+	+
Инкрементальные энкодеры sin/cos	(+)	+	+
Энкодер SSI	(+)	+	+
Энкодер BiSS C	–	–	+
Энкодер EnDat	–	–	+
<b>Подключение двигателя, кГц</b>			
Частота ШИМ	50	50	100
<b>Максимальная скорость бесколлекторного двигателя, на 1 пару полюсов, об/мин</b>			
Блочная коммутация	100 000	100 000	–
Синусоидальная коммутация	25 000	25 000	200 000
<b>Частота дискретизации, кГц</b>			
Контур тока	10	10	100
Контур скорости	1	1	10
Контур положения	1	1	10
<b>Климатические факторы</b>			
Минимальная рабочая температура, °C	–10	–10	–30

Примечания. «+» — поддержка есть; (+) — зависит от модели; «–» — поддержки нет.